二化螟绒茧蜂对二化螟及其寄主植物挥发物的趋性反应

陈华才，娄永根，程家安
（浙江大学应用昆虫学研究所，杭州　310029）

摘要：利用 Y-型嗅觉仪研究了二化螟绒茧蜂 *Cotesia chilonis* 对寄主植物（水稻或茭白）、二化螟 *Chilo suppressalis* 幼虫、虫粪及虫害苗挥发物的行为反应。健康植株、二化螟幼虫和虫粪的挥发物对二化螟绒茧蜂具有显著引诱作用。在虫害苗与健康苗挥发物之间，二化螟绒茧蜂显著地偏好虫害苗，但当去除虫害苗中的幼虫和虫粪后，寄生蜂对去虫苗与机械损伤苗的选择无显著差异；在虫害苗与有虫健康苗之间，寄生蜂显著趋向虫害苗，表明虫害苗本身释放的挥发物对二化螟绒茧蜂引诱作用与机械损伤苗无显著差异，但与二化螟幼虫或虫粪挥发物之间可能具有协同增效作用。水稻苗经机械损伤或损伤后以二化螟幼虫唾液处理，其挥发物对二化螟绒茧蜂的引诱作用无显著改变。二化螟绒茧蜂对不同为害程度水稻挥发物的选择无显著差异。二化螟绒茧蜂对两种寄主植物的健康苗、虫害苗、取食两种植物的幼虫及虫粪的挥发物的选择无显著差异。结果表明，二化螟绒茧蜂栖境定位和寄主选择过程中所利用的挥发物主要来自寄主植物、二化螟幼虫和虫粪以及虫害苗与幼虫和虫粪的协同作用。

关键词：二化螟；二化螟绒茧蜂；水稻；茭白；挥发物；行为反应
中图分类号：Q965　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：0454-6296（2002）05-0617-06

Selection responses of *Cotesia chilonis*，a larval parasitoid of the rice striped-stemborer *Chilo suppressalis*，to volatile compounds from its host and host-plants

CHEN Hua-Cai，LOU Yong-Gen，CHENG Jia-An（Institute of Applied Entomology，Zhejiang University，Hangzhou 310029，China）

Abstract：The wasp *Cotesia chilonis* Munakata is one of the main larval parasitoids of the rice striped-stemborer，SSB，*Chilo suppressalis*（Walker）. The behavioral responses of female *Cotesia chilonis* to volatile compounds emitted by these herbivores，rice or water-oat plants and herbivores damaged rice plants were studied with a Y-tube olfactometer. Female wasps were attracted to the volatiles from plants，striped-stemborer larvae and larval frass. Volatiles from herbivore damaged plants were more attractive to the female wasps than those from healthy plants. If larvae and larval frass were removed from damaged plants，these were no longer more attractive than mechanically damaged plants. However volatiles from herbivore damaged plants were also more attractive than healthy plants with larvae. This suggests that there is a synergy between volatiles from larvae damaged plants，larvae and/or larval frass. Rice plants that were damaged mechanically or/and treated with the larval regurgitant did not release attractive volatiles. The degree of attraction to volatiles from two varieties of seedlings，damaged plants，larvae fed on the two varieties of seedlings or their frass was not significantly different. These results indicate that the source of volatile compounds used by *A. chilonis* to locate its host habitat and host come from seedlings，larvae and larval frass，and more specifically，a combination of volatile compounds from plants，larva and/or frass.

Key words：*Chilo suppressalis*；*Cotesia chilonis*；rice seedling；water-oat seedling；volatile；behavioral responses

二化螟 *Chilo suppressalis*（Walker）是我国及东南亚水稻上的常发性害虫，以幼虫在水稻叶鞘和茎秆内钻蛀危害，形成枯心、枯鞘、枯孕穗、白穗及虫伤株等。除危害水稻外，二化螟还危害茭白 *Zi-*

基金项目：国家自然科学基金（30070500），浙江省自然科学基金（300065）和高校博士点基金资助项目
第一作者简介：陈华才，男，1968 年 11 月生，博士，从事昆虫化学生态学、水稻及茶树害虫综合治理研究。现在中国计量学院生命科学学院工作。E-mail：huacaichen@yahoo.com
收稿日期 Received：2001-09-03；接受日期 Accepted：2002-01-15

zania latifolia 等经济作物，发生严重时主害代的自然螟害率可达 30%以上（李安详和李慈厚，1996；顾国平等，1996；Konno and Tanaka，1996）。为控制其危害，目前生产上仍主要依靠化学农药，这不仅给环境造成了严重污染，亦导致了害虫的再猖獗、抗药性增强及次要害虫上升为主要害虫等一系列不良后果（程家安，1996）。我国二化螟寄生性天敌种类丰富，其中二化螟绒茧蜂 *Cotesia chilonis* Matsumura 是二化螟幼虫期重要寄生蜂之一，各代幼虫的寄生率为 10% ~ 90%，对二化螟田间种群动态起着重要的控制作用（蒋明星等，1999；Kazuo *et al*.，1974）。

寄生蜂在寻找寄主过程中，通常综合利用视觉、听觉和嗅觉等来感受各种与寄主相联系的信息定位寄主（McCall *et al*.，1993），其中来自寄主植物、寄主昆虫及其附属物、两者相互作用的产物以及与寄主昆虫有联系的生物等不同营养阶层的挥发物在昆虫天敌的寄主寻找过程中起重要作用（Vet and Dicke，1992；杜永均等，1994）。对于隐蔽危害的寄主昆虫，挥发物在其天敌寻找寄主过程中起着更加重要的作用（Vet *et al*.，1991）。目前有关挥发物对二化螟绒茧蜂行为影响的报道较少（Rutledge and Wiedenmann，1999）。本研究的主要目的是为了明确二化螟绒茧蜂在寻找寄主过程中所利用的挥发性信息化合物的来源及其作用。

1 材料和方法

1.1 试虫

二化螟：自浙江大学实验农场采集越冬代二化螟幼虫，室内群体饲养，在人工气候室（28 ± 1℃，16L:8D）内化蛹，羽化后饲以 10%蜜糖水，在水稻苗上产卵，收集卵块，孵化后以稻种苗饲养（尚稚珍等，1979）。

二化螟绒茧蜂：从浙江大学实验农场水稻田中采集，在人工气候室（28 ± 1℃，16L:8D）内以稻种苗饲养的二化螟幼虫繁殖（杭三保等，1994）。寄生蜂羽化后，饲以 10%蜜糖水。取经群体交配 24 h 后，个体大小基本一致、触角完整的雌蜂用于实验。

1.2 水稻苗和茭白苗

实验所用水稻品种为汕优-63，种子于室内催芽后，播于无虫网室内。苗龄 30 天左右移栽于直径 5 cm，高 8 cm 的塑料杯中，常规水肥管理，移栽后 30 ~ 45 天，苗高 30 ~ 45 cm 时用于实验；茭白苗取自浙江大学实验农场茭白田，品种浙茭 2 号，分蘖苗移栽到无虫网室内塑料杯中，待苗高 30 ~ 50 cm 时用于实验。

1.3 材料处理

（1）健康苗（HP）：取上述水稻苗和茭白苗，去黄叶和小的分蘖，每杯保留苗高 35 cm 左右的苗 1 株，用自来水将茎秆冲洗干净，备用。（2）二化螟危害苗（LDP）：取上述健康水稻（茭白）苗，每株接 2 ~ 3 龄二化螟幼虫一头，危害 0、24、48、72 h 后用于实验，每处理 10 次重复。危害 0 h 水稻苗是将幼虫放入铜网作的小虫笼中，再将其放入健康水稻。（3）危害去虫苗（LRP）：小心地剥开被害后水稻（茭白）苗茎秆，去除其中的二化螟幼虫和虫粪，每处理 10 次重复。（4）机械损伤苗（MDP）：取上述健康苗，用昆虫针在茎秆基部以上 3 cm 划刺 20 下左右，深达髓部，长约 5 cm，造成机械损伤，每处理 10 次重复。（5）唾液处理苗（STP）：采用毛细管抽气法（Turlings *et al*.，2000）收集 50 头二化螟幼虫（3 ~ 4 龄）唾液。具体操作是用一只小镊子夹住二化螟幼虫，用另一只镊子小心的夹住幼虫的头部，使其口对着一只抽气的毛细管口，毛细管连接到一只 5 mL 盛有磷酸缓冲液（pH 8.0）的塑料离心管中，由于抽气形成的负压，幼虫就不断吐出唾液，经毛细管收集到离心管的缓冲液中。收集的唾液经超滤膜过滤后冷藏保存。使用时每株取 20 μL 涂在机械损伤部位，24 h 后待用，以缓冲液处理苗作对照（BTP）。每处理 10 次重复。（6）虫粪（F）：稻谷芽饲养的 3 ~ 4 龄二化螟幼虫分别先在水稻或茭白苗上饲养 24 h，然后分别转移到另一丛水稻或茭白上饲养 48 h，分别收集水稻或茭白中的虫粪，取 5 g 作行为测定用。

1.4 二化螟绒茧蜂的行为测定

采用 Y-型嗅觉仪测定二化螟绒茧蜂对挥发物的行为反应（Turlings *et al*.，1990），以具塞玻璃筒或三角瓶作味源瓶，内盛不同处理的水稻苗、幼虫或虫粪。嗅觉仪的两臂及直管均长 10.0 cm，内径 1.5 cm，两臂夹角 75°。嗅觉仪置于一个前方敞开的半透明长方橱内，在其后方约 25 cm 处水平放置 2 只 30 W 日光灯平衡照明。Y-型嗅觉仪两臂分别通过 Teflon 管与味源瓶相连。在气流进入味源瓶之前，先经过一个活性炭过滤器（Φ1.8 cm × 10 cm）和一个蒸馏水瓶，以净化空气和增加空气湿度。每臂的气流量通过气体流量计控制在 250 mL /min。生

测时，通过小的指形管，将二化螟绒茧蜂雌成蜂逐头引入嗅觉仪的直管内，然后观察记载 5 min 内蜂的行为反应。选择性的标准如下：当某蜂爬至超过某臂的 3 cm 处，并持续 1 min 以上或到达该臂出口处者，就记该蜂对该臂的气味源作出选择。如蜂引入后 5 min，仍不作出选择，则结束对该蜂的行为观察，并记为不反应。整个生测过程在 28℃ ± 2℃ 的室内进行，测定时间为 8：00 ~ 16：00。每测定 8 头调换嗅觉仪方位一次，每测定 4 头，用 95% 乙醇清洗嗅觉仪并用热风吹干、冷却。共测定 32 头蜂，最后选择蜂数用 χ^2 检验，少数为反应的蜂未记入统计数据内。当更换处理时，用去污粉清洗整个装置，并用 95% 乙醇清洗、吹干。

1.5 实验内容

分别测定二化螟绒茧蜂对水稻 – 二化螟复合体及各组分挥发物、茭白 – 二化螟复合体及各组分挥发物、不同危害程度水稻挥发物的行为反应，以及在两种植物 – 二化螟复合体之间的行为选择。

2 结果与分析

2.1 二化螟绒茧蜂对水稻 – 二化螟复合体及其各组分挥发物的行为反应

在健康水稻（HP）、二化螟幼虫（L）、虫粪（F）的挥发物与空白对照（CA）之间，二化螟绒茧蜂显著地选择前者；在二化螟危害水稻苗（LDP）与健康水稻苗（HP）的挥发物之间，二化螟绒茧蜂显著趋向虫害苗，但当从虫害稻苗中去除二化螟幼虫和虫粪后，二化螟绒茧蜂对危害去虫苗（LRP）与机械损伤稻苗（MDP）挥发物的行为反应无显著差异。二化螟绒茧蜂对机械损伤苗（MDP）与健康苗（HP）、二化螟唾液处理苗（STP）与缓冲液处理苗（BTP）的挥发物行为反应也无显著差异。这些结果表明，水稻、二化螟幼虫及虫粪都能释放出对二化螟绒茧蜂有引诱活性的挥发物。机械损伤和二化螟幼虫唾液处理不能诱导水稻释放出引诱二化螟绒茧蜂的特异挥发物。二化螟危害水稻本身释放的挥发物对二化螟绒茧蜂也无特殊引诱作用。

2.2 二化螟绒茧蜂对茭白 – 二化螟复合体行为反应

与水稻 – 二化螟复合体相似，在二化螟危害茭白苗（LDP）与健康茭白苗（HP）的挥发物之间，二化螟绒茧蜂显著选择前者。其中，健康茭白苗（HP）、二化螟幼虫（L）和虫粪（F）的挥发物与空白对照（CA）相比，对二化螟绒茧蜂具有显著的引诱作用。当从被害茭白苗中去除二化螟幼虫和虫粪后，二化螟绒茧蜂对危害去虫苗（LRP）与机械损伤苗（MDP）挥发物的行为反应无显著差异（图 2）。表明机械损伤和二化螟幼虫唾液处理也不能诱导茭白苗释放出引诱二化螟绒茧蜂的特异挥发物。二化螟危害茭白本身释放的挥发物对二化螟绒茧蜂也无特殊引诱作用。

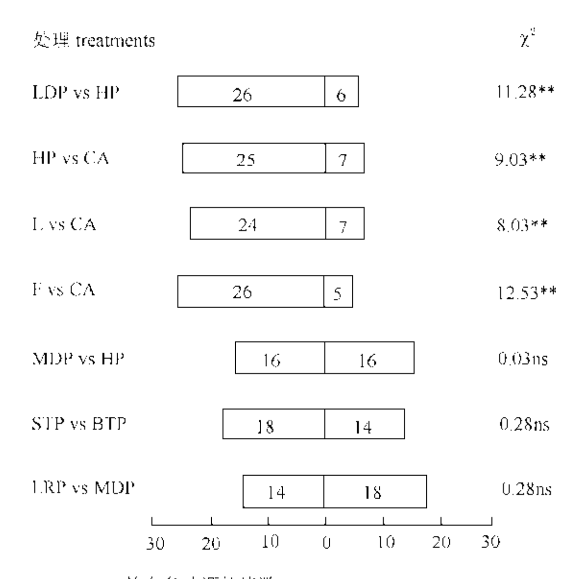


图 1 二化螟绒茧蜂对水稻 – 二化螟复合体各组分挥发物的行为反应

Fig. 1 Behavioral responses of wasps to volatiles from rice plants-*C. suppressalis* complexes

$*P<0.05$，$**P<0.01$，ns：不显著 not significant；LDP：二化螟危害水稻苗 larvae damaged rice plants；HP：健康苗 healthy plants；CA：空白对照 clean air；L：二化螟幼虫 larvae；F：虫粪 frass；MDP：机械损伤苗 mechanically damaged plants；LRP：危害去虫苗 plants without larvae；STP：唾液处理苗 plants treated with larval regurgitant；BTP：缓冲液处理苗 buffer treated plants. 下同 similarly hereinafter.

2.3 二化螟绒茧蜂对不同危害程度水稻挥发物的行为反应

在二化螟危害水稻苗（0 h、24 h、48 h、72 h）与健康水稻苗挥发物之间，二化螟绒茧蜂都显著的选择被害苗。在二化螟危害 0 h（健康水稻加二化螟幼虫）与危害 24 h 水稻挥发物之间，二化螟绒茧蜂显著的选择危害 24 h 的水稻挥发物，表明被害水稻挥发物与二化螟幼虫及虫粪挥发物之间可能具有协同增效作用。在不同危害程度水稻挥发物之间（0 h 除外），二化螟绒茧蜂的行为选择无显著差

异（图 3），表明二化螟危害水稻挥发物对二化螟绒茧蜂的引诱力与危害程度无显著相关性。

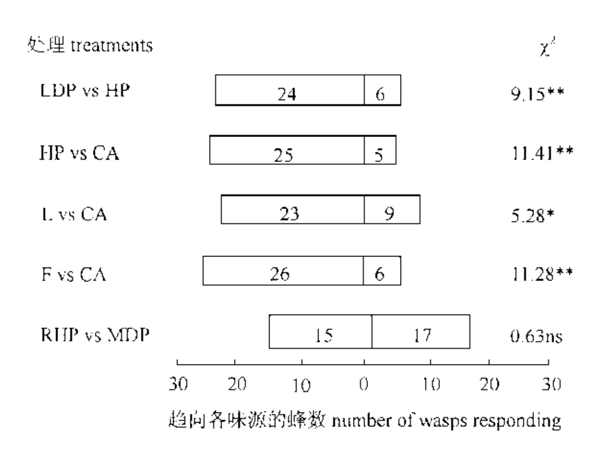


图 2 二化螟绒茧蜂对茭白－二化螟复合体各组分挥发物的行为反应

Fig. 2 Behavioral responses of wasps to volatiles from water-oat plants-*C*. *suppressalis* complexes

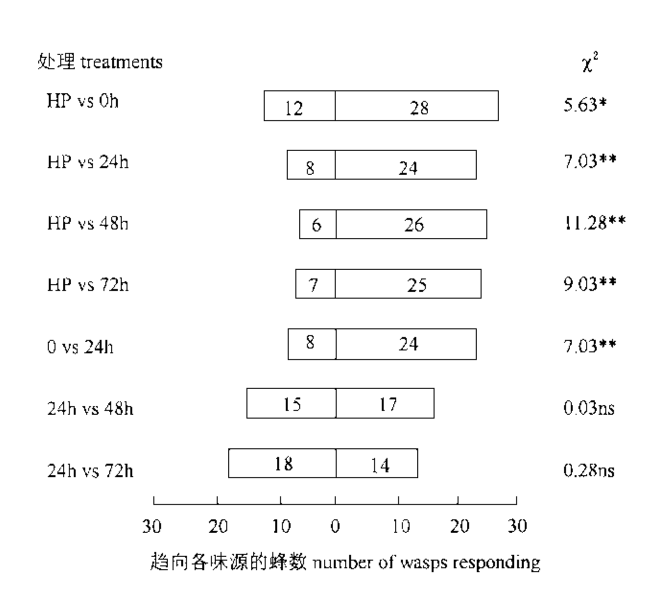


图 3 二化螟绒茧蜂对不同危害程度水稻挥发物的行为反应

Fig. 3 Behavioral responses of wasps to volatiles from rice plants damaged by *C*. *suppressalis* larvae for different periods

0 h，24 h，48 h，72 h：二化螟危害不同时间的水稻苗 rice plants damaged by *C*. *suppressalis* larvae for 0 h，24 h，48 h，72 h respectively

2.4 二化螟绒茧蜂对两种植物－二化螟复合体及各组分挥发物行为反应比较

在水稻－二化螟复合体与茭白－二化螟复合体及其各组分挥发物之间，二化螟绒茧蜂的行为选择都无显著差异，表明两种寄主植物及其各组分挥发物对二化螟绒茧蜂的引诱力无显著差异。

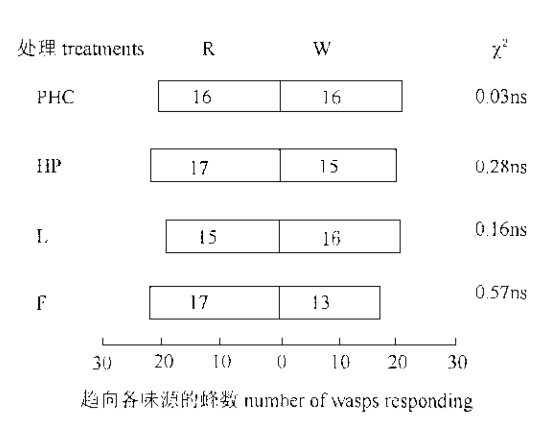


图 4 二化螟绒茧蜂对二化螟危害的两种植物的挥发物的行为反应

Fig. 4 Behavioral responses of wasps to the volatiles from two plants

R：水稻苗 rice plants；W：茭白苗 water-oat plants

3 讨论

二化螟绒茧蜂雌成蜂对不同来源的挥发物的行为反应表明，其栖境选择和寄主定位过程中主要利用来自于寄主植物、二化螟幼虫、虫粪以及二化螟与寄主植物相互作用的挥发物所提供的信息。二化螟绒茧蜂根据挥发物能够区分有虫苗和无虫苗，并利用幼虫和虫粪及幼虫与寄主植物相互作用的挥发物定位二化螟幼虫钻蛀孔，并定位二化螟幼虫。据此推测二化螟绒茧蜂寻找寄主的过程可能如下：首先通过寄主植物的挥发物找到二化螟的栖境稻田或茭白田，然后利用有虫苗与无虫苗（健康苗、机械损伤苗或虫害后的无虫苗）挥发物的差异，找到幼虫苗；然后利用虫粪挥发物定位二化螟幼虫和钻蛀孔，通过钻蛀孔进入虫道，最后利用幼虫挥发物定位二化螟幼虫，并产卵寄生。

二化螟幼虫在寄主植物叶鞘和茎秆内钻蛀危害，并将虫粪排放到钻蛀孔外和虫道内（李安详和李慈厚，1996），因而虫粪释放的挥发物可为寄生蜂寻找到二化螟幼虫提供可靠的信息。已有研究结果表明，来自虫粪的挥发物是螟黄足绒茧蜂 *Cotesia flavipes* 和大螟绒茧蜂 *C*. *sesamiae* 定位寄主钻蛀孔，进入寄主虫道，寻找并寄生昆虫的最直接、最重要的信息（Ngi-Song and Overholt，1996，1997；Potting *et al*.，1996）。本文研究结果与之相一致。二化螟危害苗的挥发物与健康苗相比，对二化螟绒茧蜂有显著的引诱作用，其中的活性成分可能来自

二化螟幼虫、虫粪以及受害水稻所释放的挥发物。实验中已证明二化螟幼虫和虫粪挥发物对二化螟绒茧蜂具有显著的引诱作用（图 1，图 2）。健康水稻中加入二化螟幼虫后，挥发物对二化螟绒茧蜂的引诱作用显著增强。当从二化螟危害苗中去除幼虫和虫粪后，其挥发物与机械损伤苗的挥发物的引诱作用无显著差异，表明受害水稻挥发物本身挥发物对二化螟绒茧蜂无特异的引诱作用。水稻受二化螟危害后，其挥发物与健康水稻中加入二化螟幼虫的挥发物相比，对二化螟绒茧蜂的引诱作用显著增强（图 3），表明受害水稻挥发物与二化螟幼虫及虫粪挥发物之间可能具有协同增效作用。二化螟虫粪挥发物中的活性成分可能来自于害虫所取食的寄主植物或害虫本身，也可能来自于二者的共同作用。本实验中，二化螟绒茧蜂能被水稻和茭白的挥发物所吸引，但不能区分水稻和茭白、取食水稻和茭白的幼虫及虫粪（图 4），表明虫粪和幼虫所释放的挥发物中的活性不受所取食的寄主植物的影响。因而，虫粪中挥发物的活性成分可能来自于二化螟幼虫本身。

寄主植物在遭受植食性昆虫危害后，能诱导释放出某些特异性挥发物作为植食性昆虫的互益素，引诱植食性昆虫的天敌（Potting *et al*.，1995；Turlings *et al*.，1990），植食性昆虫口腔分泌物（唾液）是诱导寄主植物释放出互益素的关键物质（Turlings *et al*.，2000）。在本研究中，二化螟危害苗的挥发物对二化螟绒茧蜂有显著的引诱作用，但当去除二化螟和虫粪后，它与机械损伤苗对二化螟绒茧蜂的引诱作用无显著差异，表明虫害苗中对二化螟绒茧蜂有引诱作用的挥发物来自于二化螟幼虫和虫粪。机械损伤水稻苗经二化螟幼虫唾液处理后，其挥发物对二化螟绒茧蜂的引诱作用也没有改变，表明二化螟幼虫唾液不能诱导寄主植物产生对二化螟绒茧蜂有引诱作用的特异性挥发物。其原因可能有两个方面：一是二化螟幼虫在长期的系统进化过程中，通过抑制植物诱导性挥发物的释放，从而减少对天敌引诱，减少被寄生的机会。如果二化螟幼虫唾液处理的水稻在挥发物组成的质和量上都无明显变化，则这种可能性比较大。另一方面，可能是寄主诱导的植物挥发物不利于二化螟绒茧蜂对寄主昆虫的准确定位，因而，二化螟绒茧蜂在寄主寻找过程中放弃对诱导挥发物的利用。二化螟绒茧蜂为专性寄生蜂，寄主较为单一，目前发现其田间寄主只有危害水稻和茭白的二化螟一种（何俊华等，1979）。有研究表明，专性寄生蜂在寄主定位过程更多的利用来自寄主昆虫本身及其排泄物释放的信息（Vet and Dicke，1992）。二化螟幼虫的危害习性比较隐蔽，虫体隐藏在植株茎秆内。对于隐藏性害虫，虫害诱导的挥发物由于是系统释放，挥发物释放部位与害虫危害部位差异较大，不利于寄生蜂对钻蛀孔和寄主昆虫的准确定位。因而，在长期系统进化过程中，二化螟绒茧蜂可能放弃利用植物诱导挥发物作为寄主定位的信息。

参 考 文 献（References）

Cheng J A，1996. Rice Insect Pests. Beijing: Chinese Agricultural Press. 213.［程家安，1996. 水稻害虫. 北京：中国农业出版社. 213］

Du Y J，Yan F S，1994. The role of plant volatiles in tritrophic interactions among phytophagous insects，their host plants and natural enemies. *Acta Entomol. Sin.*，37（2）：233 – 249.［杜永均，严福顺，1994. 植物挥发性次生物质在植食性昆虫、寄主植物和昆虫天敌关系中的作用机理. 昆虫学报. 37（2）：233 – 249］

Gu G P，Wang J L，Dong H T，Hu T X，2000. Occurrence and management techniques of *Chilo suppressalis* in water-oat field. *J. Zhejiang Agri. Sci.*，（Suppl.）：32 – 33.［顾国平，王济良，董海涛，胡天贤，2000. 茭白田螟虫发生规律与防治技术. 浙江农业科学，（增）：32 – 33］

Hang S B，Dai Z Y，Shen G Q，1994. A method of successive rearing *Cotesia chilonis* Munakata in laboratory. *Acta Entomol. Sin.*，37（4）：504 – 510.［杭三保，戴志一，沈国清，1994. 一种室内累代饲养二化螟绒茧蜂的方法. 昆虫学报，37（4）：504 – 510］

He J H，Chen Z F，Xu J S，1979. Atlas of Natural Enemies of Rice Insect Pests in Zhejiang Province. Zhejiang: Zhejiang Science and Technology Press. 45 – 46.［何俊华，陈樟福，徐嘉生，1979. 浙江省水稻害虫天敌图册. 浙江：浙江科技出版社. 45 – 46］

Jiang M X，Zhu Z R，Zhu J L，Zhu M L，Liao X G，Wang Z J，Cheng J A，1999. Study on parasitism of rice striped stem borer，*Chilo suppressalis*，in different habitats. *Chinese Journal of Biological Control*，15（4）：145 – 149.［蒋明星，祝增荣，朱金良，诸茂龙，廖璇刚，王正军，程家安，1999. 不同生境中水稻二化螟的自然寄生情况. 中国生物防治，15（4）：145 – 149］

Kazuo I，Yamazaki S，Machimura N，1974. Studies on the parasite，*Cotesia chilonis* Munakata，on the rice stem borer，*Chilo suppressalis* Walker. Ⅱ. Generations in a year and the parasitism. Proceedings of Association for Plant Protection of Hokuriku. 43 – 47（in Japanese）.

Konno Y，Tanaka F，1996. Mating time of the rice-feeding and water-oat-feeding strains of the rice stem borer，*Chilo suppressalis*（Walker）（Lepidopetera: Pyralidae）. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.*，40: 245 – 247（in Japanese）.

Li A X，Li C H，1996. Stripped Stem Borer and Its Control. Beijing: Chinese Agricultural Press. 1 – 10.［李安祥，李慈厚，1996. 二化螟及其防治. 北京：中国农业出版社. 1 – 10］

Lou Y G，1999. role of infochemicals in the host selection behavior of parasitoid，*Anagrus nilaparvatae* Pang *et* Wang. Zhejiang: Ph. D. Disserta-

tion, Zhejiang University. [娄永根，1999. 信息化合物在稻虱缨小蜂寄主选择行为中的作用. 浙江：浙江大学博士论文]

McCall P J, Turlings W J, Lewis W J, 1993. The role of plant volatiles in host location by the specialist parasitoid *Microplitis croceipes* Cresson (Braconidae: Hymenoptera). *J. Insect Behaviour*, 6: 625–639.

Ngi-Song A J, Overholt W A, Njagi P G N, Dicke M, Ayertey J N, Lwande W, 1996. Volatile infochemicals used in host and host habitat location by *Cotesia flavipes* Cameron and *Cotesia sesamiae* (Cameron) (Hymenoptera: Braconidae), larval parasitoids of stemborers on Graminae. *J. Chem. Ecol.*, 22: 307–323.

Ngi-Song A J, Overholt W A, 1997. Host location and acceptance by *Cotesia flavipes* Cameron and *C. sesamiae* (Cameron) (Hymenoptera: Braconidae), parasitoids of African stemborers: Role of frass and other cues. *Biological Control*, 9: 136–142.

Potting R P J, Vermeulem N E, Conlong D E, 1996. Active defense of herbivorous hosts against parasitism: adult parasitoid mortality risk involved in attacking a concealed stemboring host. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 91: 143–148.

Potting R P J, Vet L E M, Dicke M, 1995. Host microhabitat location by stem-borer parasitoid *Cotesia flavipes*: the role of herbivore volatiles and locally and systemically induced plant volatiles. *J. Chem. Ecol.*, 21 (5): 525–539.

Rutledge C E, Wiedenmann R N, 1999. Habitat preferences of three congeneric braconid parasitoids: implications for host-range testing in biological control. *Biological Control*, 16: 144–154.

Shang Z Z, Wang Y S, Zhou Y H, 1973. Studies on successive mass rearing of the rice stemborer *Chilo suppressalis* Walker. *Acta Entomol. Sin.*, 22 (2): 164–167. [尚稚珍，王银淑，邹永华，1979. 二化螟饲养方法的研究. 昆虫学报，22 (2): 164–167]

Turlings T C J, Tumlinson J H, Lewis W J, 1990. Exploitation of herbivore-induced plant odors by host-seeking parasitic wasps. *Science*, 250: 1251.

Turlings T C J, Alborn H T, Loughrin J H, Tumlinson J H, 2000. Volicitin, an elicitor of maize volatiles in oral secretion of *Spodoptera exigua*: isolation and bioactivity. *J. Chem. Ecol.*, 26 (1): 189-202.

Vet L E M, Dicke M, 1992. Ecology of infochemical used by natural enemies in a tritrophic context. *Annual Review of Entomol.*, 37: 141–172.

Vet L E M, Wäckers F L, Dicke M, 1991. How to hunt for hiding hosts: the reliability detectability problem in foraging parasitoids. *Netherland J. Zool.*, 41: 202–213.